

# 선형화기와 구동 증폭기를 이용한 위성통신용 EHF 대역 진행파관 증폭기 개발 방안

## A Developing Technique of EHF TWTA Using Linearizer and Drive Amplifier for Satellite Communications

홍 인 표

In-Pyo Hong

요 약

본 논문에서는 위성통신용 EHF(Extremely High Frequency) 대역 진행파관 증폭기(TWTA: Traveling Wave Tube Amplifier)의 개발 방안을 제안한다. RF(Radio Frequency) 특성 및 이득 향상을 위해 증폭기 설계 및 구현시 선형화기(linearizer)와 구동 증폭기(drive amplifier)를 활용하였다. 80 W급 EHF 대역 진행파관 증폭기의 구현 및 시험을 통하여 제안한 방안이 설계 규격을 만족시키는 결과를 얻었다. 따라서 본 논문에서 제안한 방안은 매우 유용하며, 차후 EHF 대역 유사 장비 개발시 적용 가능할 것으로 판단된다.

Abstract

This paper suggests a developing approach of EHF TWTA for satellite communications. In order to improve RF performance and gain, we design and realize an EHF TWTA using a linearizer and drive amplifiers. Through the embodiment and experiment of 80 W EHF TWTA, this method satisfies the design specifications. Therefore, this approach is very useful and can be used to develop the similar equipments.

Key words : TWTA, Linearizer, Drive Amplifier, Back-off, AM/PM, Intermodulation

### I. 서 론

위성 통신은 지형 조건에 상관없이 신속하게 통신망 구성이 가능하고 회선 설정이 용이하며, 자연 재해에 높은 신뢰성을 갖는 내 재해성의 장점이 있다. 따라서 전시 및 천재지변 등 위기 상황에서 위성 통신을 이용하면 통신 구조의 취약성을 극복할 수 있고 신뢰성 있는 장거리 통신망 구축이 가능하게 된다. 즉, 통신 거리 및 지형적인 영향이 적으므로 원거리 등의 지리적인 여건에 의하여 통신이 어려운 지역과 지물에 의한 통신 소통 장애를 줄일 수 있다. 또한 위성 통신은 빔 폭으로 수신 지역 조정과 동시 통신이 가능하다<sup>[1]</sup>.

위성 통신용 지상 단말(ground terminal)의 하드웨어는 일반적으로 공통처리부, 모뎀부, IF(Intermediate Frequency) 처리부 및 RF 처리부로 구성되며, RF 처리부는 상향/하향 주파수 변환기, 저잡음 증폭기 및 진행파관 증폭기 등으로 구성된다. 진행파관 증폭기의 주요 기능은 입력되는 RF 신호를 일정한 크기로 증폭하여 안테나로 출력하는 것이다.

진행파관 증폭기는 고체 및 클라이스트론(klystron) 증폭기와 비교하여 광대역 주파수 영역에서 매우 효율적으로 RF 신호를 증폭할 수 있는 장치이다. 클라이스트론은 전력 소비가 적고 중량도 가볍지만 진행파관에 비하여 통과 주파수 대역폭이 좁다. 송신 전력이 비교적 작은 지구국이나 위성에서는 사용

국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· 논문 번호 : 20060629-067

· 수정완료일자 : 2006년 8월 25일

주파수대에 따라서는 고체 증폭기(SSPA: Solid State Power Amplifier)도 사용되고 있다. 고체 소자(solid state) 기술과 비교했을 때 최근의 금속-세라믹 진행 파관(metal-ceramic traveling wave tube) 증폭기는 가격대 성능면에서 우수한 성능을 가지고 있다. 즉, 대부분의 경우에 있어서 진행파관 증폭기를 사용하는 시스템은 고체 증폭기를 사용하는 시스템에 비해 소형이고 가벼우며 효과적이다<sup>[2][3]</sup>. 그러나 RF 증폭기 설계 및 개발시 진행파관과 고체 증폭기를 상호 보완적으로 활용하는 것이 비용대 효과면에서 매우 효율적이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 위성 통신을 비롯한 통신 분야에 사용이 가능한 EHF 대역 80 W급 진행파관 증폭기의 개발 방안을 제시한다. EHF 대역 진행파관 증폭기의 설계 및 개발시 고려할 주요 사항으로서 선형성 향상을 위한 선형화기 사용 방안, 구동 증폭기 사용시 장단점 분석 및 관련된 RF 특성을 고찰하고자 한다. 진행파관 증폭기 내부에 선형화기 장착시 상호 변조(intermodulation), AM/PM 변환 등 주요 RF 특성이 향상된다.

## II. 설계시 고려사항 및 주요 RF 특성

고속 디지털 통신을 하기 위해서는 시스템의 선형성이 중요하다. 시스템이 비선형이면 고속 디지털 통신시 중요한 정보인 크기(amplitude)와 위상(phase) 정보가 왜곡되므로 BER(Bit Error Rate)이 나빠진다. 시스템의 선형성에 영향을 가장 크게 미치는 장비 중 하나가 최종 출력단에 위치한 진행파관 증폭기이며, 이것의 선형성을 높이는 방식은 아래와 같이 크게 4가지로 구분된다.

**백오프(back-off) 방식:** 출력 백오프를 하게 되면 광대역 및 안정적으로 선형성을 유지하게 되지만 백오프에 의한 시스템의 가용성이 떨어지게 되므로, 백오프량을 줄이는 것이 시스템의 선형 영역을 높여주는 핵심이 된다.

**선형화기 또는 전치 왜곡(predistorter) 방식:** 비교적 간단한 방법으로 고효율, 광대역의 장점을 갖는다. 전치 왜곡을 위한 저속 귀환(slow feedback)을 사용하며, 바이어스가 걸린 다이오드 또는 룩업 테이블(lookup table)을 이용한 전치 왜곡 신호를 발생하

는 방식으로 왜곡된 신호를 제거하는 성능은 다른 방식에 비해 떨어진다.

**귀환(feedback) 방식:** 이득 및 선형성 개선을 목적으로 사용되며, 내부 LO(Local Oscillator)의 잡음과 루프 대역폭(loop bandwidth) 및 신호 지연에 의한 시스템의 성능 저하가 단점이다.

**피드 포워드(feedforward) 방식:** 광대역 증폭기에 주로 사용되며, 귀환 루프를 사용하지 않으므로 안정성의 제한이 없다. 하지만 매우 정교한 위상 천이기(phase shifter) 튜닝이 필요하며, 내부 보조 증폭기에 의해 효율이 현저하게 떨어지는 단점이 있다.

진행파관 증폭기의 경우, 주로 선형화기와 백오프 방식을 이용하여 선형성을 개선한다<sup>[4]</sup>. 진행파관 증폭기에서 선형화기의 역할은 진행파관 증폭기의 P1 dB(1 dB gain compression point) 부분에서의 이득 및 위상 특성이 왜곡되는 것을 보상함으로써 진행파관 증폭기가 보다 선형적으로 동작하여 이득 및 위상 특성 왜곡으로 인하여 발생하는 상호 변조량을 줄이는 역할을 한다. 진행파관 증폭기용 선형화기는 진행파관(TWT: Traveling Wave Tube) 종류마다 이득 및 위상 특성이 다르므로 진행파관의 이득 및 위상 특성에 맞게 설계되어야 좋은 결과를 얻을 수 있다. 일반적으로 디지털 통신용으로 개발된 진행파관에 선형화기를 장착하면 C/I(Carrier to Inter-modulation ratio)값 25 dB를 만족시키는 출력 값이 약 3 dB 정도 개선된다. 그러나 선형화기 장착에 따른 비용 상승이 크고, 선형화기의 입력 전력 레벨(level)이 작기 때문에 추가적으로 구동 증폭기가 필요하게 됨으로, 일반적으로 선형화기 장착은 선택 사양이 된다. 그림 1은 진행파관 증폭기의 선형화 과정을 나타낸다<sup>[5]</sup>. 진행파관 증폭기에 선형화기를 사용할 경우, 이득

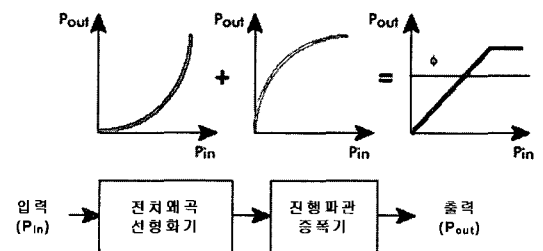


그림 1. 진행파관 증폭기 선형화 과정  
Fig. 1. Linearization process of TWT.

에 대한 선형성이 증가되고 P1 dB 근처에서의 AM/PM 특성도 함께 개선된다.

식 (1)과 같은 입력 신호가 진행파관 증폭기에 입력되면,

$$P_{in}(t) = r(t)e^{j\omega(t)} \quad (1)$$

진행파관 증폭기의 출력 신호는 식 (2)와 같다.

$$P_{out}(t) = F_A\{r(t)\}e^{j[\omega(t) + F_p\{r(t)\}]} \quad (2)$$

여기서  $F_A\{r(t)\}$ ,  $F_p\{r(t)\}$ 는 각각 비선형 왜곡이 있는 진행파관 증폭기의 AM/AM, AM/PM 변환이다. 진행파관 증폭기의 비선형 특성에 따른 RF 성능을 분석하는데 사용되는 Saleh 모델의 AM/AM, AM/PM 변환식은 다음과 같다.

$$F_A\{r(t)\} = \alpha_A r(t) / \{1 + \beta_A r^2(t)\} \quad (3)$$

$$F_p\{r(t)\} = \alpha_p r^2(t) / \{1 + \beta_p r^2(t)\} \quad (4)$$

여기서  $\alpha_A$ ,  $\beta_A$ 는 AM/AM 변수이고,  $\alpha_p$ ,  $\beta_p$ 는 AM/PM 변수이다.

진행파관 증폭기의 비선형 왜곡은 IBO(Input Back-Off), OBO(Output Back-Off)와 관계가 있으며, 다음과 같이 정의된다.

$$IBO = 10 \log_{10} \frac{P_{SN}}{P_{IN}} \text{ (dB)} \quad (5)$$

$$OBO = 10 \log_{10} \frac{P_{SOUT}}{P_{OUT}} \text{ (dB)} \quad (6)$$

여기서  $P_{IN}$ 은 진행파관 증폭기 입력 신호의 평균 전력이고,  $P_{OUT}$ 은 진행파관 증폭기 출력 신호의 평균 전력,  $P_{SN}$ 은 진행파관 증폭기의 포화 입력 전력이고,  $P_{SOUT}$ 은 포화 입력 전력에 해당하는 진행파관 증폭기의 포화 출력 전력이다. OBO가 작으면 진행파관 증폭기의 동작점이 포화점 근처에 있으므로 전력 효율은 향상되지만 비선형 왜곡에 의해 신호 왜곡이 심해진다. OBO가 증가하면 진행파관 증폭기의 동작점이 포화점과 멀리 떨어져 선형 영역에 있으므로 신호 왜곡은 적지만 전력 효율은 저하된다<sup>[6]</sup>.

상호 변조란 비선형 소자를 통한 RF 신호 처리 과정에서 두 개의 다른 입력 주파수 신호의 고조파 주파수들끼리의 합과 차로 조합된 출력 주파수 성분이 나오는 현상이다. 상호 변조는 디지털 통신에서 특

히 중요하며 소자의 비선형 특성 때문에 발생한다. 진행파관 증폭기의 상호 변조 레벨은 식 (7)에 의해 구할 수 있다.

$$\text{상호 변조 레벨} \cong 2 \times \text{백오프} + A \text{ (dB)} \quad (7)$$

일반적으로 A 값은 10 dB이며 진행파관에 따라 6 ~ 11 dB 정도의 범위를 갖는다.

이득 및 이득 안정도는 진행파관 증폭기에 사용된 능동(active) 부품 특성에 의해 결정되며 가장 큰 영향을 미치는 소자가 구동 증폭기와 진행파관이다. 구동 증폭기는 진행파관 증폭기에서 요구되어지는 이득값을 얻기 위해 사용되며, 또한 진행파관 증폭기 동작 범위에서 충분한 선형성을 갖도록 P1 dB 값이 높은 것을 사용한다. 구동 증폭기는 선형화가 앞뒤에 각각 장착되어 운용된다. 고출력 증폭기의 이득은 소신호 이득 기준이고, 이득 안정도는 상온의 규정 온도에 대한 값으로써 17°C 또는 23°C 중에서 선정하여 측정한다. 상호 변조 레벨의 백오프는 진행파관 증폭기의 플랜지 출력(flange power)을 기준으로 한다.

진행파관 증폭기 설계시 구동 증폭기를 사용할 경우 장단점을 분석하면 다음과 같다. 진행파관 자체만으로 원하는 높은 이득을 얻을 수도 있으나 이 경우 진행파관을 새로 개발하여야 하며 추가적으로 다음과 같은 단점이 있다.

- 높은 이득으로 인해 진행파관이 발전할 가능성이 있다.
- 진행파관의 이득이 높아질수록 비선형 특성이 나빠진다.
- 소신호 이득 특성이 좋지 않다(즉, 주파수에 따른 소신호 이득 변동이 큼).
- 출력단 잡음 전력이 높아진다.
- 주문 제작 사양이므로 부품 획득이 어렵고 차후 유지 보수 비용이 증가한다.
- 주문 제작 제품이므로 개발을 하여야 하며, 따라서 개발 위험도(risk)가 증대된다.

따라서 진행파관과 구동 증폭기를 같이 사용할 경우 원하는 이득을 손쉽게 얻을 수 있으며, 구동 증폭기의 RF 특성이 진행파관에 비해 우수하므로 전체적인 특성이 향상된다. 구동 증폭기는 최근 기술 개발이 급속히 이루어져 선형성과 주파수에 따른 이

득 평탄도가 진행파관에 비해 매우 우수하다. 따라서 진행파관 증폭기의 이득은 구동 증폭기의 이득, 진행파관의 이득 및 가변 감쇄기(variable attenuator)의 감쇄량으로 결정된다. 보다 좋은 이득 안정도를 얻기 위해 가변 감쇄기가 사용되며 온도에 따른 이득 변화와 주파수에 따른 이득 변화를 보정할 수 있다. 그리고 요구되는 이득 안정도는 PIN(Positive Intrinsic Negative) 다이오드 감쇄기(diode attenuator)를 사용하여 구현할 수 있다.

### III. 구현 및 시험

본 논문에서는 2장에 기술된 설계 및 개발시 고려해야할 필수적인 주요 사항과 표 1에 제시된 설계 규격을 적용하여 위성통신용 80 W급 EHF 대역 진행파관 증폭기의 프로토타입(prototype)을 구현하였다. 표 1은 진행파관 증폭기의 전기적 성능 규격 중 설계 및 구현에 필요한 주요 사항을 정리한 것이다. 표 2에는 선형화기와 구동 증폭기에 관련된 주요 규격이 제시되어 있다. 선형화기와 구동 증폭기는 타 RF 소자와 같이 2장에 기술된 주요 고려사항과 표 2에 제시된 설계 규격에 적합한 상용 제품을 구입하여 사용한다. 본 논문에서 선형화기는 Linearizer Technology Inc., 구동 증폭기는 MMCOMM Inc.사 제품을 사용하였다.

본 논문에서 사용된 진행파관은 Teledyne사의 제품(포화 전력 150 W)이며, 진행파관 증폭기의 포화 전력 레벨이 125 W(50.97 dBm)이므로 포화 전력에

서 7 dB를 백오프시 진행파관 증폭기에서 상호 변조 -25 dBc를 만족하는 플랜지 출력은 25 W(43.97 dBm)가 된다. 선형화기를 장착할 경우, 피크 전력(peak power)에서 3~4 dB 백오프시 상호 변조 레벨이 -25 dBc가 된다.

일반적으로 2 톤(tone) 시험시 3 dB 백오프한 지점에서 상호 변조 레벨 -25 dBc를 선형화기를 이용하여 달성 가능하나 진행파관의 입출력 전달 특성이 동작 온도와 동작 주파수에 따라 달라지므로 진행파관 증폭기 동작 온도 범위, 주파수 대역에 따라 이 값은 달라질 수 있다. 따라서 선형화기는 진행파관 특성에 정합되도록 설계 및 조정되어야 한다. 그리

표 1. TWTA의 주요 설계 규격  
Table 1. Main design specifications of TWTA.

항 목	규 격
주파수 범위	30~31 GHz
출력 전력	80 W(49.03 dBm) 이상
이득	대신호 이득: 60 dB 이상 소신호 이득: 65 dB 이상
이득 안정도	±0.25 dB 이하/24시간
상호 변조	-19 dBc 이하(@ 4 dB 백오프)
AM/PM 변환	2.5 %/dB 이하(@ 6 dB 백오프)
잡음 전력	-70 dBW/4 kHz(@ 30~31 GHz)
위상 잡음	IESS(Intelsat Earth Station Standards) 규격보다 10 dB 이상 낮을 것 모든 불요파(spurious)의 합: -47 dBc 이하

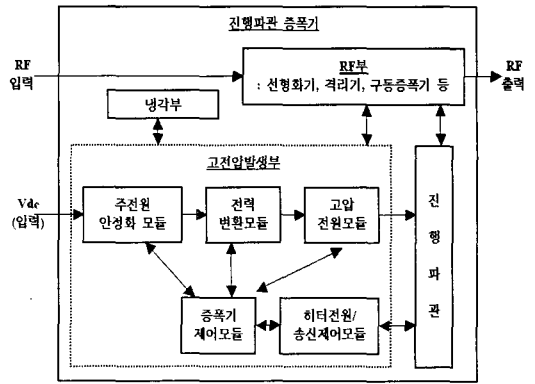
표 2. 선형화기와 구동 증폭기의 주요 설계 규격  
Table 2. Main design specifications of linearizer and drive amplifiers.

소자명	항 목	규 격	비 고
	주파수 범위	30~31 GHz	모든 소자에 적용
EHF 대역 선형화기	출력 백오프 C/I	> 25 dB	@ 3 dB 백오프
		> 30 dB	@ 4 dB 백오프
	AM/PM 변환	< 2 %/dB	@ 정격 출력
	위상 천이	< ±5 °	@ 정격 출력
구동 증폭기 1	출력 전력	> 22 dBm	
	소신호 이득	≥ 22 dB	
구동 증폭기 2	출력 전력	> 27 dBm	
	소신호 이득	≥ 24 dB	

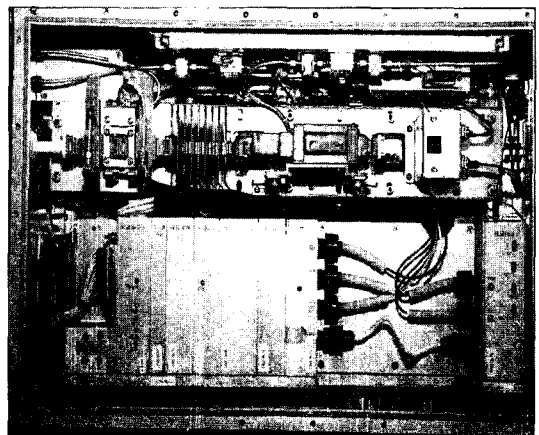
고 진행파관 및 기타 소자의 특성이 변화하면, 선형화기의 특성을 다시 조정하여야 한다.

그림 2에는 본 논문에서 구현한 진행파관 증폭기의 구성도와 내부 사진이 제시되어 있으며, 크기는 26 cm×33 cm×50 cm이고 크게 고전압 발생부, 냉각부, 진행파관, 그리고 RF부로 구성된다.

고전압 발생부는 주 전원 안정화 모듈, 전력 변환 모듈, 고압 전원 모듈, 히터 전원/송신 제어 모듈, 증폭기 제어 모듈로 구성되며, 각 모듈의 주요 기능은 다음과 같다. 주전원 안정화 모듈은 전력 변환 모듈로 안정된 전압을 공급해 주는 역할을 담당하며, 귀환 제어를 이용하여 출력 과전압 보호 및 과온도에 대한 오류를 검출한다. 전력 변환 모듈은 인버터로 구성된 모듈로써 고전압 발생을 위해 전력을 변환하여 고압 전원 모듈로 변환된 전력을 공급해주는 역할을 담당하며, 인버터 과전류 보호 및 과온도 오류 검출, 고전압 발생기 온도를 검출한다. 고압 전원 모듈은 전력 변환 모듈에서 공급된 전력을 이용하여 진행파관의 캐소드, 콜렉터, 나선(helix)에 고압의 안정된 전원을 공급해주는 역할을 담당하며, 진행파관의 나선 전류, 전자빔 전류, 캐소드 과전압/저전압 상태를 검출한다. 히터 전원/송신 제어 모듈은 FE (Focus Electrode) 및 히터 전압을 제어하는 역할을 담당하며, 히터의 과전류/저전류 오류 검출 및 히터 전류를 검출한다. 증폭기 제어 모듈은 시스템 제어 장치와 진행파관 증폭기 내부의 연동을 담당하며, RS-485 포트(port)를 이용하여 시스템 제어 장치로부터 진행파관의 제어 및 상태 감시에 대한 정보를 교환한다. 냉각부는 진행파관 증폭기 내부의 온도를 일정 온도 이하로 유지하기 위한 장치로써, 진행파관 및 내부 장치의 성능에 영향이 없는 범위 내에서 동작되도록 한다. 냉각부는 개별시험 및 유지 보수를 위해 타 장치와 연결 및 분리가 용이하도록 설계한다. 진행파관은 RF 증폭기이며 진행파관이 적절한 증폭 기능을 수행하도록 전압을 공급시켜 주는 장치가 고전압 발생부이다. RF부는 선형화기, 도파관, 격리기(isolator), 구동 증폭기, 가변 감쇄기, 고조파 필터(harmonic filter), 2중 방향성 결합기(dual directional coupler) 등으로 구성되며, 주로 기 개발된 소자를 이용하므로 설계 규격 및 변수값에 적합한 소자를 선정하여 사용한다.



(a) 구성도  
(a) Block diagram



(b) 내부 사진  
(b) Inside photography

그림 2. 80 W급 EHF 대역 진행파관 증폭기  
Fig. 2. 80 W EHF TWTA.

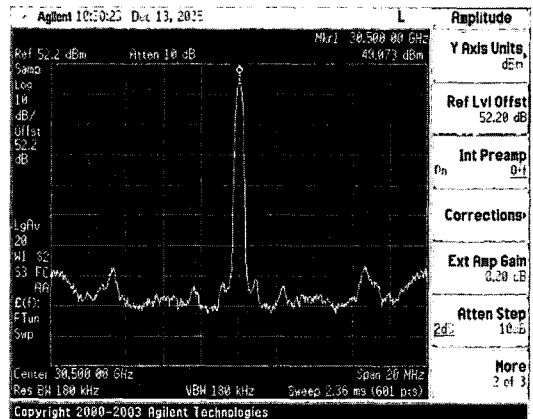


그림 3. 출력 전력  
Fig. 3. Output power.

진행과관 증폭기를 설계/구현한 후 시험을 통해 진행과관 증폭기의 RF 특성 개선 사항을 확인하였으며, 시험 결과를 정리하여 기술하면 아래와 같다.

출력 전력은 30.5 GHz에서 입력 전력이 -23.9 dBm 일 때 49.073 dBm(기준 레벨 오프셋(reference level offset): 52.2 dB)이 되었다(그림 3 참조).

그림 4에서 마커(marker) R이 최소 이득으로 19.27 dB이고 RF 포트의 오프셋이 50 dB이므로 대신호 이득은  $69.27(=19.27+50)$  dB가 된다.

그림 5에서 마커 R이 최소 이득으로 20.78 dB이고 RF 포트의 오프셋이 50 dB이므로 소신호 이득은  $70.78(=20.78+50)$  dB가 된다.

그림 6에서와 같이 30.5 GHz에서의 상호 변조 레벨은 4 dB 백오프시 -32.32 dBc가 된다.

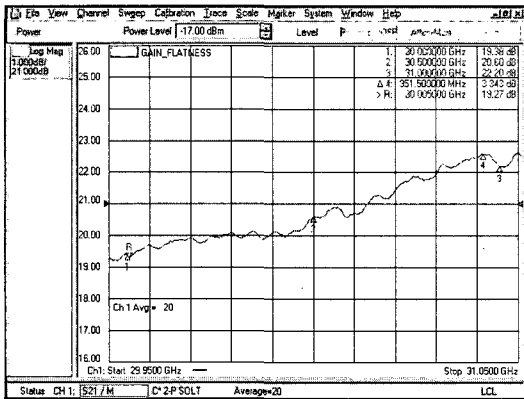


그림 4. 대신호 이득  
Fig. 4. Large signal gain.

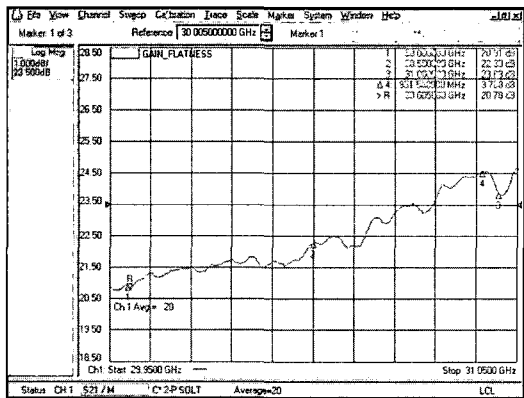


그림 5. 소신호 이득  
Fig. 5. Small signal gain.

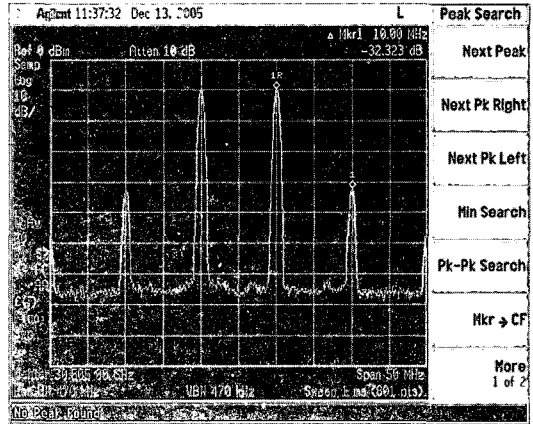


그림 6. 상호 변조(@30.5 GHz, 4 dB 백오프)  
Fig. 6. Intermodulation(@30.5 GHz, 4 dB back-off).

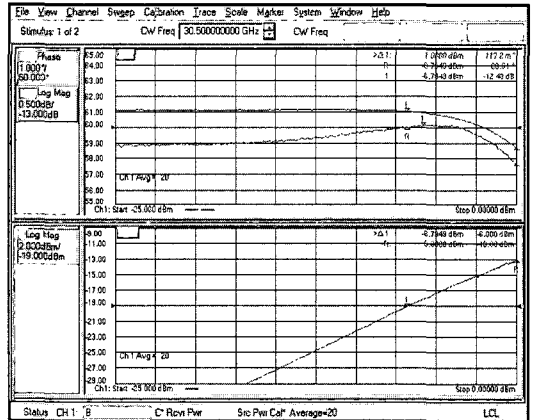


그림 7. AM/PM 변환  
Fig. 7. AM/PM conversion.

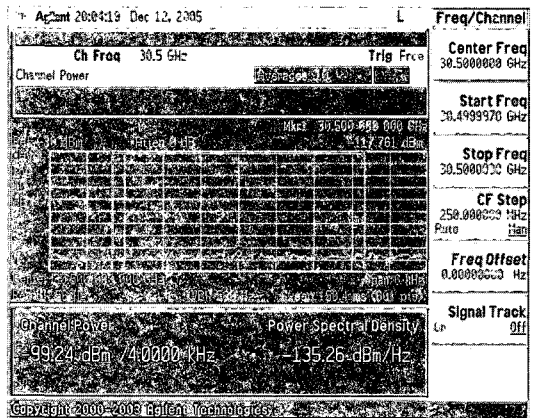


그림 8. 잡음 전력  
Fig. 8. Noise power.

### IV. 결 론

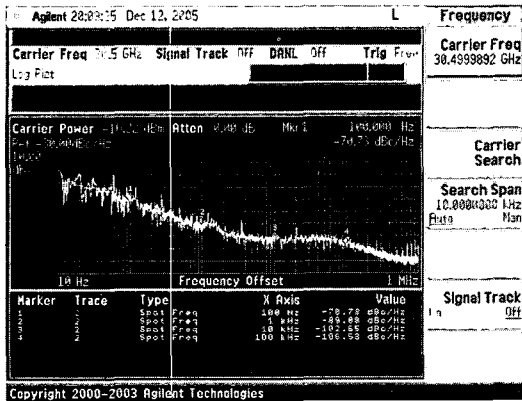


그림 9. 위상 잡음  
Fig. 9. Phase noise.

표 3. 위상 잡음 시험 결과  
Table 3. The test results for phase noise.

규격		시험 결과
주파수 (30.5 GHz)	-40 dBc/Hz 이하 @ 10 Hz	-56.43 dBc/Hz
	-70 dBc/Hz 이하 @ 100 Hz	-70.73 dBc/Hz
	-80 dBc/Hz 이하 @ 1 kHz	-89.88 dBc/Hz
	-90 dBc/Hz 이하 @ 10 kHz	-102.65 dBc/Hz
	-100 dBc/Hz 이하 @ 100 kHz	-106.53 dBc/Hz

30.5 GHz에서 6 dB 백오프시 AM/PM 변환값이 0.1132 °/dB( $\Delta$  마커 1)가 됨을 그림 7에서 알 수 있다. 30.5 GHz에서 측정치가 -99.24 dBm/4 kHz일 때 잡음 전력은  $-99.24 + 52 - 30 = -78.06$  dBW/4 kHz가 된다(그림 8 참조). 여기서 측정 단자의 손실(loss)은 52 dB이다.

그림 9에서 알 수 있는 바와 같이 30.5 GHz에서의 위상 잡음에 대한 시험 결과는 표 3과 같다. 또한 모든 불요파의 합은 -47 dBc 이하가 되어 제안된 규격을 만족하였다.

상기 시험 결과를 종합하면 선형화기와 구동 증폭기를 사용하여 80 W급 EHF 대역 진행파관 증폭기를 구현한 결과 선진국 유사 장비인 ETM사의 ETM-120 K, XICOM Technology사의 XTD-120 Ka 및 MCL사의 MT3300에 비해 이득 안정도와 위상 잡음 성능은 비슷하였으나, 상호 변조 레벨은 약 4~7 dB, AM/PM 변환은 약 0.5~1°/dB, 잡음 전력은 3~6 dBW/4 kHz 정도 향상되었음을 알 수 있다.

통신 방식과 무관하게 진행파관 증폭기의 선형성과 이득은 매우 중요한 설계 요소이다. 진행파관 증폭기 설계시 선형화기를 사용함으로써 증폭기의 선형성을 증대시켜 RF 특성을 개선한다. 진행파관은 Teledyne과 Thales 등 소수의 회사만 생산하고 있으며, 주문 생산을 할 경우 원하는 특성을 얻기가 용이하지 않고 개발 기간이 길어진다. 그러나 구동 증폭기는 민수 부문의 수요로 인하여 다수의 회사가 양질의 제품을 생산하고 있다. 그러므로 진행파관은 구매가 가능한 양산 제품을 사용하고 부족한 이득은 구동 증폭기를 이용하여 얻는 것이 개발 위험도를 줄이고 향후 양산시 부품 수급 및 정비성을 향상시킬 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 선형화기와 구동 증폭기의 특성을 이용한 EHF 대역 진행파관 증폭기 개발 방안을 제시한다.

본 논문에서 제안한 방안을 적용하여 구현한 80 W 급 EHF 대역 진행파관 증폭기에 대한 시험 결과 동급의 유사 장비와 비교하여 성능이 우수함을 알 수 있다. 상호 변조 레벨은 약 4~7 dB, AM/PM 변환은 약 0.5~1°/dB, 잡음 전력은 3~6 dBW/4 kHz 정도 우수하다. 따라서 본 논문에서 제안한 80 W급 EHF 대역 진행파관 증폭기 개발 방안은 매우 효과적이고 유용하며, 차후 유사 장비 개발시 적용 가능함을 알 수 있다.

### 참 고 문 헌

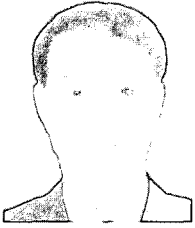
- [1] G. Maral, M. Bousquet, *Satellite Communication Systems*, 3rd Ed., John Wiley & Sons Ltd., pp. 3-18, 1998.
- [2] Peter Ehret, Helmut Vogt, Andreas Peters, and Ernst Bosch, "L-Band TWTAs for navigation satellites", *IEEE Trans. on Electron Devices*, vol. 52, no. 5, pp. 679-684, May 2005.
- [3] Jan M. Weekley, Bill J. Mangus, "TWTA Versus SSPA: A comparison of on-orbit reliability data", *IEEE Trans. on Electron Devices*, vol. 52, no. 5, pp. 650-652, May 2005.
- [4] International Telecommunication Union, *Handbook*

on Satellite Communications, 3rd Ed., Wiley-Interscience, New York, ch. 7, 2002.

[5] Allen Katz, "TWTA linearization", *The Microwave Journal*, vol. 39, no. 4, pp. 78-90, Apr. 1996.

[6] 이동훈 등, "X-Band 위성단말 TWTA의 비선형성에 의한 AM/PM 분석", 제7차 통신/전자/C4ISR 학술대회(군통신, 전자전, C4ISR 분야), 국방과학연구소, pp. 99-103, 2003년 10월.

## 홍 인 표



1982년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1997년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)

2004년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)

1984년 3월~현재: 국방과학연구소

책임연구원

[주 관심분야] 위성통신, Data Link, SAR/IFSAR, Data/Image Fusion